VOS RÉF.: DGSNR/SD2/ 033-2003

NOS RÉF.: BE/DIN/EM-SVR/FL – 003/020

INTERLOCUTEUR:

OBJET:

Monsieur le Directeur Général
de la Sûreté Nucléaire et
de la Radioprotection
6 Place du Colonel Bourgoin
75572 PARIS

Paris, le

Monsieur le Directeur Général,

Par votre lettre en référence, vous me demandez d'examiner l'aptitude du projet EPR à faire face à la chute d'un avion de ligne tel qu'on les envisage dans le ciel européen, et de vous faire les propositions utiles à l'issue de cet examen.

Très rapidement après les attentats du 11 Septembre 2001 commis aux Etats-Unis, EDF s'est préoccupé de cette question et a examiné la conception du projet EPR à cet égard.

Comme vous le soulignez, le projet a été conçu d'entrée de jeu pour faire face à la chute d'un avion militaire qui représente déjà un cas de charge sévère. A ce titre, les concepteurs ont été amenés à choisir une architecture générale, fonctionnelle et géographique, qui tienne compte de telles chutes. C'est ainsi que le projet comporte une architecture générale organisée en 4 trains, physiquement distincts, et qu'une partie de l'installation est « bunkérisée ». Il s'agit en particulier du bâtiment réacteur, du bâtiment du combustible usé et du bâtiment des auxiliaires de sauvegarde qui abrite 2 des 4 trains de sauvegarde (parties mécaniques et électriques).

La partie « bunkérisée», dimensionnée comme il a été rappelé pour un impact de type avion militaire, présente d'ores et déjà une résistance élevée, notamment vis à vis des risques de perforation ; les caractéristiques d'un avion militaire en font en effet un missile considéré comme « perforant ».

Ces dispositions générales confèrent au projet EPR une grande robustesse vis à vis de l'impact potentiel d'un avion de type commercial, et sont donc maintenues sans changement.

Nonobstant l'aptitude du projet EPR à faire face à des chutes d'avion, il convient de noter qu'EDF n'envisage pas d'assurer une capacité de résistance vis-à-vis de tout acte de guerre ou tout acte terroriste envisageable. La prévention de ceux-ci ou la limitation de leur effet relève essentiellement de la puissance publique.

Dans ces conditions,

- o d'une part la vérification de l'aptitude de l'installation à faire face à de telles chutes et les dispositions associées doivent être considérées comme hors du dimensionnement « normal » de l'installation, et je suis donc conduit à placer cette situation dans les catégories de situations dite « Risk Reduction Category » (RRC),
- o d'autre part les hypothèses relatives à l'impact doivent assurer une couverture « raisonnable » du risque, et ne peuvent prétendre envelopper toutes les éventualités. En outre, il me semble qu'elles doivent demeurer cohérentes avec les pratiques internationales en cours, et ne pas non plus introduire de différences trop fondamentales avec la façon dont cette question est abordée pour les autres installations industrielles à risque.

Il me semble également que les hypothèses, règles utilisées et analyses associées ne devraient pas figurer dans les rapports de sûreté accessibles ou susceptibles d'être accessibles publiquement.

Cette logique générale est précisée en annexe. En complément, pour pouvoir effectuer ou vérifier le dimensionnement des voiles constituant la protection de la partie bunkérisée, il apparaît nécessaire de définir un cas de charge qui serve de référence.

Il apparaît également souhaitable que ce cas de charge de référence, tout en permettant de couvrir de façon appropriée les avions dont on envisage la chute dans le cadre d'une action malveillante, ne soit pas directement associable à tel ou tel type d'avion, ni à telle ou telle vitesse d'impact. Il doit donc correspondre à une hypothèse de dimensionnement conventionnelle associée à des méthodes de calcul et des critères également conventionnels.

Dans ce contexte, je suis donc conduit à proposer que soit retenu le cas de chargement défini en annexe, cas de chargement qui couvre raisonnablement les risques susceptibles d'être engendrés par les types d'avion envisageables dans le ciel européen.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur Général, l'expression de ma haute considération.

B. LESCOEUR

Démarche de dimensionnement des ouvrages EPR vis-à-vis du risque lié aux chutes d'avions civils

1 - Principes et Objectifs

Les centrales doivent être protégées de façon appropriée vis-à-vis du risque lié à la chute d'avions. Pour ce faire, il est habituel de distinguer 3 catégories d'aviation: l'aviation générale, l'aviation commerciale, l'aviation militaire. Chacune de ces catégories présente un risque potentiel de nature distincte.

Pour l'aviation générale, sur la base des statistiques, on considère que la probabilité de chute n'est pas suffisamment faible pour que le risque soit considéré comme résiduel. Ce type d'aviation est donc pris en compte comme une donnée de dimensionnement normal.

Pour l'aviation commerciale, sur la base des statistiques, la probabilité de chute sur une centrale est très faible. Par contre, à la lumière des événements du 11 septembre 2001, on ne peut exclure une action volontaire (qui ne peut être cernée en termes de probabilité). Il est donc convenu de prendre en compte ce type de risque, et de le prendre en compte au titre de la conception mais hors du dimensionnement "normal", et donc comme situation complémentaire assimilable à la catégorie dite de réduction du risque (RRC)[1].

Il en est de même pour l'aviation militaire, pour laquelle l'analyse statistique ne permet pas toujours de conclure de façon tranchée, et qu'il a été convenu de prendre en compte dans le projet EPR.

D'une façon globale, l'objectif général recherché est que, en cas de chute d'avion sur la centrale, il n'y ait pas de conséquences inacceptables par rapport à la nature du risque.

C'est ainsi que:

- au titre du dimensionnement normal (aviation générale) les conséquences ne doivent dépasser les limites fixées pour les accidents de catégorie 4 ([2]).(PCC 4)
- au titre du dimensionnement complémentaire (aviation commerciale) les conséquences ne doivent pas dépasser les limites de la catégorie RRC-B ([3]).

La protection contre ce risque fait appel à diverses dispositions telles que:

- Architecture générale, fonctionnelle et géographique,

[1] Cette définition, cohérente avec la classification EPR, correspond en principe au vocable "design extension" que l'on trouve dans certains pays.

[2] Cf § 5.2.2 ETC-S: <50 mSv dose effective 50 ans, <150 mSv dose thyroide.

[3] Cf § 5.2.4 ETC-S: < 2 10^4 TBq Xe133; 11,4 TBq I131; 1,8 TBq Cs137 à court terme (24h) et < 5 10^5 TBq Xe133; 30 TBq I131; 2,7 TBq Cs137 à long terme.

- o Redondance et séparation géographique (structuration en 4 trains, géographiquement dispersés),
- o Protection physique (parois résistantes pour la partie "bunkérisée)

Le choix de ces différentes dispositions relève de la conception d'ensemble de l'installation. Une fois celle ci définie, on en déduit les parties de l'installation (systèmes, fonctions, ouvrages,...) qui doivent faire l'objet d'une protection physique. Cette démarche, suivie au titre de la prise en compte du risque lié à l'aviation militaire, reste appropriée pour la prise en compte du risque relatif à la chute d'avion de type commercial, et est donc maintenu sans changement.

L'objet du présent document est prioritairement de définir les règles et hypothèses associées au dimensionnement des ouvrages de protection (parois de la partie "bunkérisée") et non pas de couvrir l'ensemble de la conception de la centrale vis à vis de ce risque aviation.

2 - Hypothèses et méthodes de dimensionnement (aviation générale)

Pour mémoire, le cas de chargement est rappelé en annexe.. La surface d'application considérée est de 4 m^2.

3 - Hypothèses et méthodes de dimensionnement (aviation militaire)

Pour mémoire, les cas de chargement sont rappelés en annexe. 2 cas sont distingués pour d'une part le dimensionnement/vérification de la résistance des parois, d'autre part pour déterminer les vibrations induites[4].

4 - Hypothèses et Méthodes de dimensionnement complémentaire (aviation commerciale)

Pour le dimensionnement mécanique des ouvrages on utilisera la courbe conventionnelle CA, jointe en annexe, qui donne l'effort en fonction du temps pour le cas d'un impact normal à la paroi. Ces efforts sont à adapter en fonction de l'angle d'incidence et en fonction de la réponse dynamique de la structure subissant l'impact.

Ces données seront utilisées pour dimensionner ou vérifier

La stabilité et la résistance d'ensemble des ouvrages protégés

Les vibrations induites dans les structures, qui ne doivent pas conduire à la défaillance des équipements nécessaires

La résistance des protections au risque de pénétration locale

[4] Le cas de l'aviation militaire est traité dans le dossier EPR discuté par GP/RSK avec en référence les courbes C1 et C2. Il n'est pas repris en détail ici.

EDF – SEPTEN

22-02-2003

CONFIDENTIEL DEFENSE

Pour le dimensionnement de la résistance des protections vis à vis de la pénétration et pour la détermination des déformations locales, on associe aux efforts définis par la courbe CA les surfaces d'application suivantes: 40 m^2 pour le 1er plateau, 90 m^2 pour le 2ème plateau. Par convention pour le dimensionnement, cette surface sera considérée comme circulaire. En outre, la non perforation ponctuelle devra être assurée avec le chargement localisé 2t, 200m/s, 2 m^2 (ou pour ne pas indiquer de vitesse particulière xxMN, yy ms, 2 m^2); l'utilisation de la formule semi-empirique de juste perforation (formule dite CEA-EDF) est préconisée.

Pour la détermination des ébranlements (spectres de vibrations) induits dans les bâtiments, et auxquels les équipements nécessaires doivent résister, on retiendra quelques points d'impact conventionnels localisés en partie centrale des parois exposées (en excluant ainsi les localisations les plus invraisemblables ou non représentatives). Pour les voiles horizontaux (toitures), on retiendra un angle d'incidence par rapport à l'horizontale de 30°. Aucune démonstration particulière d'aptitude des matériels nécessaires n'est requise si les vibrations induites sont inférieures à celles retenues pour le séisme dans la gamme de fréquence 5-20Hz (gamme de fréquence à confirmer).

D'une façon générale, on utilise des données et méthodes "réalistes" (caractéristiques réelles des matériaux, limites de résistance et non limites élastiques,...) et on ne cumule pas d'autres défaillances que celles induites par l'impact (pas d'application de CDU) et on ne cumule pas avec d'autres chargements (séisme, accident non induit,...)

Dans les cas où il existe une double paroi, et que la paroi interne présente une certaine robustesse vis à vis de projectiles (éclats de béton, projectiles résiduels, chocs,...), il est admis d'aller jusqu'à la limite de perforation sans exclure des éclats de béton, et les déformations locales sont admises jusqu'au contact (si par ailleurs elles ne mettent pas en cause des équipements nécessaires).

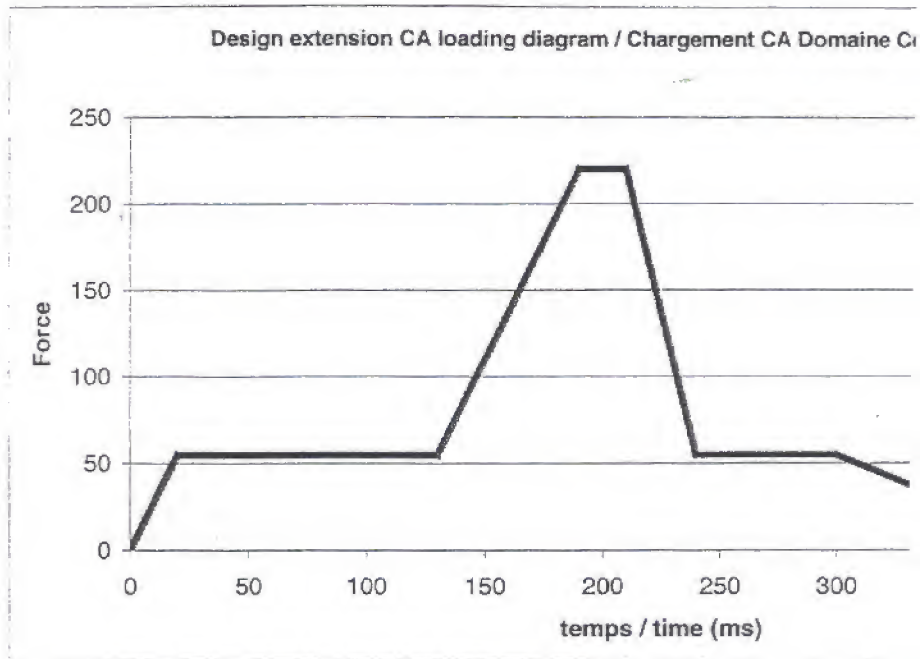
Ceci conduit à utiliser des critères limites de comportement pour les aciers de 5% (allongement) et pour le béton de 1% (raccourcissement) dans le cas de double voile.

Par rapport au dimensionnement des voiles du projet EPR "Basic Design", ces hypothèses de chargement et ces règles ou critères, conduiront à un renforcement des armatures et à un épaississement de certains voiles.

EDF – SEPTEN

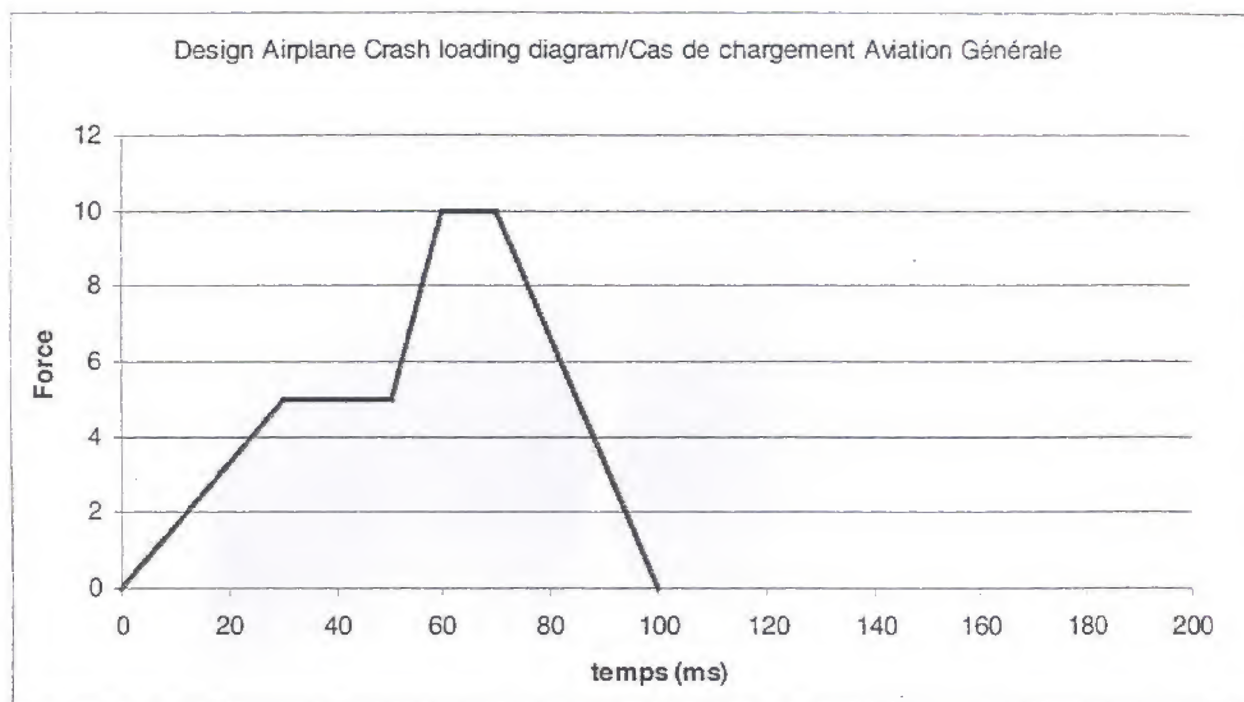
22-02-2003

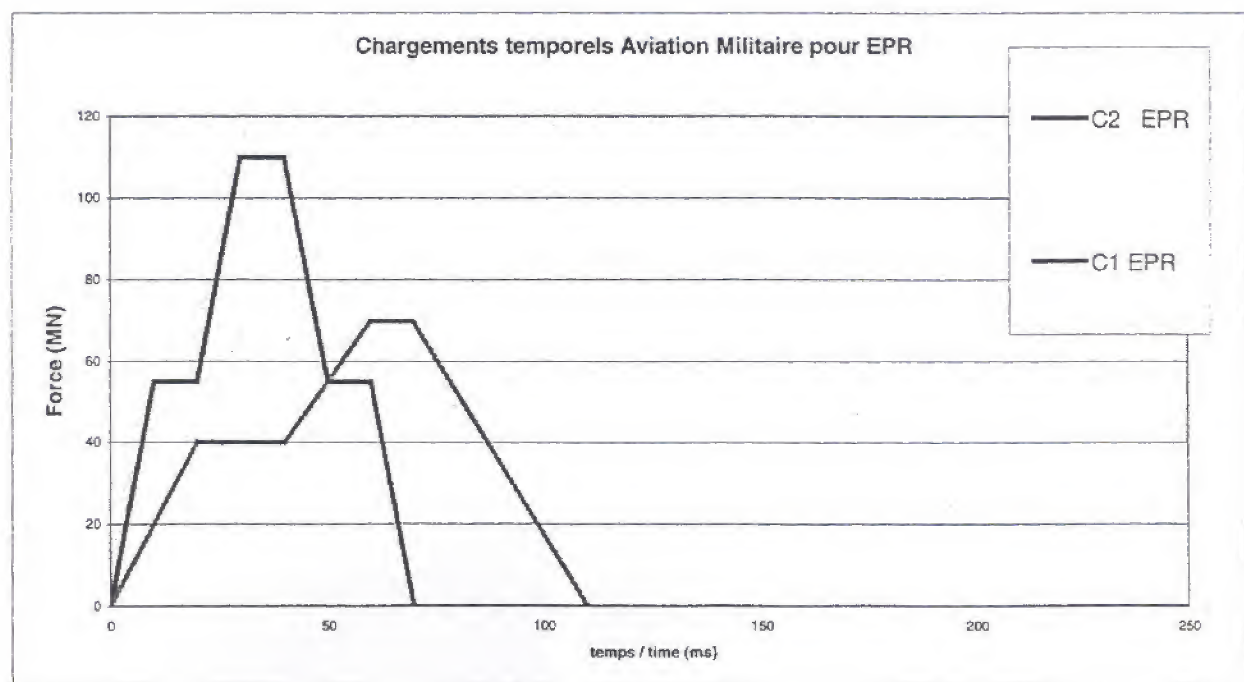
CONFIDENTIEL DEFENSE



CONFIDENTIEL DEFENSE

Annexe 1 / Appendix 1





EDF – SEPTEN

22-02-2003

CONFIDENTIEL DEFENSE

Diagramme de chargement Aviation Générale

General aviation loading diagram

Temps/time	0 ms	30 ms	50 ms	60 ms	70 ms	100 ms
Force	0 MN	5 MN	5 MN	10 MN	10 MN	0 MN

Diagrammes de chargement Aviation Militaire

Military aviation loading diagrams

Temps/time	0 ms	20 ms	40 ms	60 ms	70 ms	110 ms
Force C1	0 MN	5 MN	5 MN	10 MN	10 MN	0 MN

Temps/time	0 ms	10 ms	20 ms	30 ms	40 ms	50 ms	60 ms	70 ms
Force C2	0 MN	55MN	55 MN	110 MN	110 MN	55 MN	55 MN	0 MN

Diagramme de chargement Aviation Commerciale

Commercial aviation loading diagram

Temps/time	0 ms	20 ms	130 ms	190 ms	210 ms	240 ms	300 ms	400 ms
Force	0 MN	55 MN	55 MN	220 MN	220 MN	55 MN	55 MN	0 MN

Annexe 2 / Appendix 2

Commentaires sur les éventualités à envisager - Considérations sur la typologie des agressions

On s'intéresse ici aux agressions résultant de l'impact potentiel d'avions commerciaux dans la logique des attentats suicide du 11 Septembre 2001.

Compte tenu qu'une centrale nucléaire (en fait les bâtiments du bloc usine) ne forme pas une très grosse cible et qu'elle est nettement moins haute qu'un immeuble de grande hauteur, il est sans doute assez difficile pour un pilote non chevronné de viser très précisément une zone sensible. Un impact en vol horizontal stabilisé supposerait un vol à très basse altitude (moins de 50 m) à peu près impossible à envisager sauf peut-être pour certains sites en bord de mer. Même dans ce cas, voler à très faible altitude n'est pas à la portée de pilotes non chevronnés. On ne peut donc que considérer un pilotage de type atterrissage, mais dans des conditions plus difficiles. On doit donc envisager une approche de type descente pour atterrissage avec angle faible (de l'ordre de 10°) éventuellement suivie d'une inflexion en final (~30°), avec une vitesse de l'ordre de celles utilisées lors des atterrissages.

On peut évidemment envisager tout type d'avion. Plus il est gros, plus il sera difficile d'atteindre une cible précise, en manœuvrant éventuellement, compte tenu de l'existence la plupart du temps d'un relief ou de divers obstacles plus ou moins proches de la centrale.

A partir de ces considérations on se propose de retenir pour le dimensionnement des ouvrages, un cas de chargement qui ne soit pas spécifique d'un avion déterminé[5]; Le cas de chargement proposé/retenu couvre une large gamme de types/masses/vitesses. Il couvre raisonnablement les chargements induits par des avions moyen/gros porteurs à des vitesses relativement élevées de l'ordre de 140-160 m/s (500-580 km/h); Il couvre également le cas de jumbo-jets à des vitesses de type "approche" de l'ordre de 100-125 m/s (360-450 km/h). Le diagramme dessous illustre ces données. Les surfaces d'application de l'impact retenues correspondent à des moyens/gros porteurs tant pour la partie fuselage que pour la partie ailes et réacteurs; pour les jumbo-jets les surfaces à considérer seraient plus importantes et les hypothèses sont donc raisonnablement pénalisantes.

D'une façon générale, quatre effets principaux sont à considérer:

- Un risque de **pénétration ou de perforation** locale. Ce risque comporte 2 aspects: le risque de pénétration lié à l'impact global de l'avion; le risque lié à la perforation par des parties petites mais dures (réacteurs essentiellement).

  Vis-à-vis de ce risque, un avion commercial constitue un projectile relativement « mou », mais agissant sur une surface relativement importante et avec des efforts très importants. Il n'engendre donc pas de problème de « perforation » aussi sévère que d'autres agressions (avion militaire, missile turbine,...). Les réacteurs d'avions de ce type sont en effet plus gros (section) et souvent moins lourds que des réacteurs d'avion

[5] Le fait de ne pas afficher un type d'avion donné participe à la protection en ne donnant pas d'indication aux éventuels terroristes sur les capacités réelles de résistance.

militaire. Par contre, les déformations et les déplacements des parois peuvent localement être importants compte tenu des efforts et des surfaces où elles sont appliquées.

- Un **effet global** qui comporte 2 aspects:

  Un risque du à l'**effort global**; Cet aspect concerne la stabilité des ouvrages et les déplacements d'ensemble induits.

  Un risque lié à l'**ébranlement** qui génère des vibrations dans les structures, transmises aux équipements.

  En termes d'impact global, un avion commercial constitue un projectile plutôt « lourd » avec une grande énergie et induit donc des efforts importants et un ébranlement important dans les bâtiments. Compte tenu de la conception et de la masse de la partie "bunkérisée", le projet EPR est "robuste" vis à vis de ces effets globaux.

- Un risque **Incendie**. Les effets liés aux risques d'incendie consécutif à une telle chute sur les bâtiments ou aux alentours sont difficiles à évaluer. Les quantités de carburant (kérosène) présentes peuvent être très importantes (plusieurs dizaines de tonnes) même si une grande partie est consommée pendant la phase de décollage. Par conception, les parois des bâtiments présentent une certaine capacité de résistance au feu (notamment par conception des secteurs de feu), mais il est difficile de localiser l'incendie et d'évaluer les durées de feu à considérer. Cependant le REX des incidents/accidents de gros avions crashés en bout de piste et au décollage montre que le kérosène brûle très vite, donc pas très longtemps et qu'un feu extérieur n'est pas très destructeur pour les structures au contraire d'un feu en milieu confiné. Des études plus complètes, avec base théorique, indiquent qu'en cas d'impact sur une surface relativement rigide (par opposition en particulier à un impact sur de la terre plus molle) le kérosène s'enflamme très vraisemblablement sous forme d'une "boule de feu" impliquant la quasi totalité du kérosène et dont la durée n'est que de quelques secondes.

  La conception d'EPR, avec sa partie centrale "bunkérisée" conduit à considérer que les bâtiments périphériques peuvent être détruits par l'impact ou l'incendie, mais que l'incendie à considérer reste extérieur à la partie bunkérisée. Les parois doivent alors résister à ces incendies

  Ces considérations permettent de proposer les hypothèses suivantes (à confirmer):

  - Boule de feu de diamètre d'influence 90m, température 1200°C, durée 2mn.
  - Feu de 1/2h 800°C à l'extérieur des bâtiments résistants au crash.

EDF – SEPTEN

22-02-2003

CONFIDENTIEL DEFENSE

